

岐阜の住宅における非冷暖房時の熱的快適性と着衣量に関する研究

Investigation on Clothing Insulation and Thermal Comfort during the Free Running Mode in Houses in Gifu City

学生会員 ○渡部 幸樹 (東京都市大学) 正会員 リジナル H.B. (東京都市大学)
 正会員 中谷 岳史 (岐阜高専) 正会員 宿谷 昌則 (東京都市大学)
 Kouki WATANABE*¹ H.B. RIJAL*¹ Takashi NAKAYA*² Masanori SHUKUYA*¹
 *¹ Tokyo City University *² Gifu National College of Technology

People choose and wear the most comfortable clothing to suit to various thermal situations. Some researches are conducted only for a short period of time, and some offer only a few samples. In order to clarify the clothing insulation, the thermal measurements and thermal comfort survey were conducted in 30 houses during one year period in Gifu City of Japan. The number of samples collected was more than 21,000. The results showed that the clothing insulation is correlated with the outdoor air temperature. The regression equations can be used to predict the clothing insulation in residential building.

1. はじめに

環境調整行動の中で、容易で意図的に温熱感覚を調整できる行為の一つに着衣量の調節があり、オフィスや屋外に比べて服装の制約がない住宅において非常に大きな役割を担っている。近年では、「クールビズ」や「ウォームビズ」が注目され、これらは社会的に急速に浸透して既に広く認知されてきている。また、冷暖房機器などの家電製品全般でエネルギー効率を高めるといった省エネルギーの推進は盛んであるのに対して、冷暖房の過剰使用や使用頻度を抑えようとする動きはそれほどみられない。しかし、省エネルギーを進めていく上で、冷暖房の使用頻度を抑えることや設定温度の緩和が、非常に大きな影響をもたらす可能性がある。これらは、居住者の意識や住まい方の面での対策が必要不可欠であるため、住宅にて温熱環境を調査し、居住者の温熱感覚・着衣量の実態を把握する必要がある。

これまで、着衣量と省エネルギーの観点から、「衣服の追加着用による設定室温の低下と暖房エネルギー削減効果に関する研究」は行われている¹⁾。また、着衣量と至適温度の変化の関係に関する研究も行われている²⁾。既往研究ではオフィス³⁻⁵⁾、商業空間^{6,7)}、屋外⁸⁻¹⁰⁾を対象とした着衣量に関する研究は数多くみられる。実験室での住宅を想定した研究は行われているが⁴⁾、実際の居住者を対象とした調査研究は少ない^{11,12)}。このように、今までに着衣量と温熱環境に関する研究は数多く行われており、特に温熱感覚の改善が必要とされる夏と冬に着目した研究が多い^{11,12)}。既往研究では、着衣量の季節差が明らかにされているが^{6,7,9)}、秋や春を含めた調査は少ない

⁹⁾。また、着衣量と外気温の関係について詳細に検討した研究も少ない⁹⁾。そのため、住宅で居住者の着衣量調整に関する実態をさらに検討する必要がある。

そこで本研究では、岐阜の住宅を対象に、一年間住宅の温熱環境の実測と居住者の熱的主観申告調査を行い、居住者の着衣量の実態について明らかにする。これまで、筆者ら¹³⁾は生データでの外気温による着衣量の推定式の提案を行ってきたが、平均値も用いて回帰式を検討する。また、これまで着衣量と外気温の関係では全体的な傾向を見てきたが、今回は男女別にし、回帰式の検討を行う。さらに、着衣量と快適温度の関係を明らかにし、着衣量の調整が快適温度にどの程度影響を与えているかについても報告する。

2. 調査方法

本調査は住宅を対象とし、居住者に熱的快適性に関する室内温熱環境の実測と主観申告調査を行った。測定機器数の制約により、30戸を3グループ(A・B・C)に分け、表1に示すサイクル(8日ごと)で調査を行った。またグループ間の設置移動には、3~4日の間隔を置いた。このように、月に8日の調査を各住戸で約1年間繰り返した。

表-1 温熱環境実測と主観申告調査のサイクル

グループ	家番号	5/13 ~ 5/20	5/24 ~ 5/31	6/3 ~ 6/10	6/14 ~ 6/21	6/24 ~ 7/1	7/5 ~ 7/12
A	1~10	●————● 調査期間(8日間)			●————●		
B	11~20		●————●			●————●	
C	21~30			●————●			●————●

2.1 室内温熱環境の実測

調査対象地域は岐阜県岐阜市近郊である。住戸種類は木造の戸建住宅であり、平屋もしくは二階建てである。調査期間は2010年5月13日～2011年5月31日である。室温（空気温度）と相対湿度は携帯型の温湿度データロガー(T&D, TR-71, TR-72)、グローブ温度はグローブサーモメーター(Sibata、ベルノン式、150 mm)を用いて測定した。また各住宅のリビングに、日射や電気機器などの影響が少ないような場所に設置を依頼し、10分間隔で測定を行った。温湿度計は、全て校正されたものを使用し、温湿度センサーの誤差は気温が±0.3℃、相対湿度が±5%である。

また、外気環境のデータは気象庁のホームページで公開されているデータを用いた。観測地点は調査住戸の中心に位置する岐阜県岐阜市とした。

2.2 主観申告

人体側要因（着衣量、代謝量）と主観申告で構成したアンケート形式による申告調査を依頼した。着衣量は着衣重量を答えてもらい、花田らの式を用いて clo 値を推定した^{14,15)}。着衣重量は申告時刻に着用していた衣服を記憶してもらい、申告日の夜の入浴前に重量計で測定するよう依頼した。また重量計は最低 100 グラム単位で計測できるものとした。代謝量は主観申告の直前 15 分間の平均的活動量を 5 段階尺度で申告してもらい、推定した。その結果、申告中の平均代謝量は 1.2met である。

寒暑感申告を図 1 に示す。快適温度の算出は、寒暑感尺度の中立時に、熱的快適感が最大（熱的不快感が最小）になることが前提である。中谷ら¹⁶⁾の関西地域の夏期実態調査では、熱的快適感が最大となる温冷感は、「涼しい」に偏っていた。夏期においては、日本語の涼しいに、熱的快適性が強く表現されていると考え、「暑い」と「寒い」で構成された寒暑感を採用した。主観申告は一人につき 1 か月のうち 8 日間、1 日に 4 回（起床～12 時、12～16 時、16 時～20 時、20 時～就寝）、それぞれ一回申告するよう依頼した。ただし、指定時間中の回答が困難であれば 1 時間以上の間隔を空けて申告することを認めた。

調査住戸数は 30 家族で調査人数は 78 名(男性:40 名、女性:38 名)である。平均年齢は男性 40.5 才、女性 41.3 才である。被験者には事前に調査内容の説明を行い、調査の承諾を得た。若年者及び高齢者は事前調査で室内環境を言語で評価することに問題がないことを確認している。なお、疾患を有する被験者や、調査内容を理解することが難しい幼児は調査対象から外した。また調査期間中に被験者から調査中断の申し出や要望があれば、速やかに対応した。得られた申

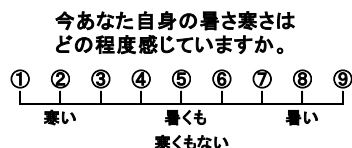


図-1 寒暑感の尺度

告の総数は 21,446 個(男性:10,502 個、女性:10,944 個)である。

3. 結果と考察

本研究では、冷暖房を全く使用していない状態「FRモード(Free Running Mode)」を分析する。

3.1 申告中の温熱環境

各温度「外気温・室温・グローブ温度」の月ごとの推移を、図 2 に示す。月平均温度は、9 月で最大、1 月で最少である。次に、季節別での検討を行うと、申告中の平均外気温・グローブ温度はともに、夏、秋、春、冬の順に大きい（表 2）。また、外気温に比べて、各季節とも室温・グローブ温度の方が高い傾向がみられる。室温・グローブ温度は外気温に比べて、夏に約 2℃、冬に約 8℃高い結果であり、夏に比べて冬の方が室内外の差が大きい。

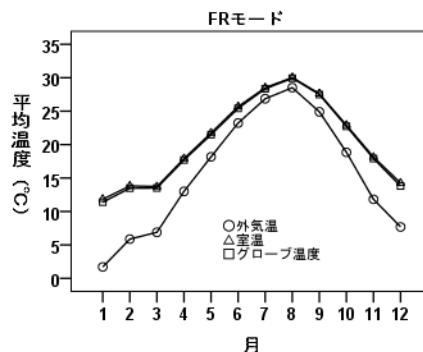


図-2 月別の外気温、室温とグローブ温度

表-2 季節別の外気温、室温とグローブ温度

季節	各温度	度数	平均値(°C)	標準偏差(°C)
夏	外気温	4,138	25.4	3.7
	室温	4,128	27.4	2.6
	グローブ温度	3,652	27.2	2.7
秋	外気温	4,195	19.4	6.2
	室温	4,048	23.3	4.5
	グローブ温度	4,029	23.2	4.5
春	外気温	4,128	15.9	5.2
	室温	4,082	20.1	3.8
	グローブ温度	4,034	19.9	3.7
冬	外気温	1,284	5.4	4.4
	室温	1,252	13.4	4.5
	グローブ温度	1,219	12.9	4.7

3.2 着衣量の予測

外気温から着衣量を予測するため、着衣量と外気温の線形回帰分析を行う。図 3 に、生データに基づく着衣量と外気温の散布図を示す。着衣量 (I_{cl}) と外気温 (T_o) の間に下記の回帰式が得られた。

$$I_{cl}(M) = -0.008 T_o + 0.612$$

(n=6882, $R^2=0.087$, $p<0.001$, S.E.=0.0003) (1)

$$I_{cl}(F) = -0.016 T_o + 0.994$$

(n=6541, $R^2=0.125$, $p<0.001$, S.E.=0.001) (2)

M: 男性、F: 女性、n: サンプル数、R²: 決定係数、p: 有意水準、S.E.: 標準誤差である。

図3の回帰線を見ると、居住者の着衣量は外気温が低い時に大きく、外気温が高い時に小さいという事実を示している。しかし、生データから導いた式(1)、(2)の決定係数が小さいため、データを平均して回帰分析を行い、決定係数や回帰係数がどのように変化するかを検討する。そこで、節2の「調査方法」で述べたように、各グループの住戸で8日のサイクルにて調査を行っているため、各住戸の男女に分けた「8日間平均」を用いる。また、「月平均」のデータでも検討する。なお、今回の回帰分析は平均値のみで行っており、重み付け回帰分析については今後検討する。

表3に、生データと平均値の回帰分析の結果を示す。また、生データ・8日間平均・月平均それぞれにおける着衣量と外気温の回帰線を、図4に示す。データを平均することによって決定係数がかなり上昇し、月平均で最も高い(表3)。しかし、注目すべき点は、生データでも平均したデータでも回帰線の傾きが似ていることである(図4)。生データに基づく回帰式の方が決定係数は小さいが、全申告が反映した回帰式の方が、着衣量と外気温の関係を示すのに妥当的であると思われる。したがって、以降の分析では生データに基づく回帰式を用いて考察する。

着衣量と外気温には負の相関関係があり、男女ともに外気温に応じて着衣量を調整していて、外気温が上昇すると着衣量が減る傾向がみられる。また、図3より回帰線の傾きは男性より女性の方が大きく、これは外気温の変化に対して、女性の方が敏感に反応している結果を示唆する。また、男性に比べて女性の方が、外気温の上昇や低下に対しての着衣量の調整幅が大きい。

既往研究で得られた回帰式を表4に示す。着衣量と外気温の関係から得られる回帰係数は、渡部・リジヤルの関東の研究¹⁷⁾を除き、既往研究より本研究の方が小さい(表4)。つまり本研究は、外気温の変化に対して着衣量の変化が小さかったことが示唆され、エネルギー削減の観点から考えると、着衣量を増やせる

余地がまだ残っている。そのため、着衣量を増加させることにより秋・冬・春の暖房使用の低減・設定温度の緩和を行える可能性がある。今後は、既往研究との比較を詳細に行い、着衣量をどの程度増やすことが可能であるかについても検討をする必要がある。

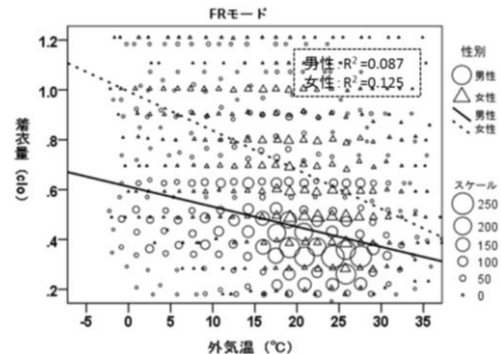


図-3 男女別の着衣量と外気温の関係

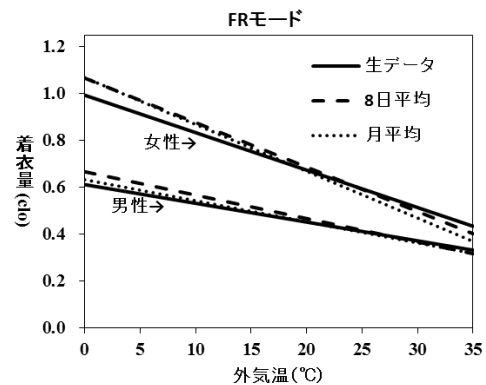


図-4 男女別の着衣量と外気温の関係

表-3 着衣量と外気温の回帰式

性別	データの種類	回帰式	n	R ²	S.E.	p	t値
男性	生データ	$I_{cd} = -0.008T_o + 0.612$	6882	0.09	0.0003	<0.001	-25.7
	8日間平均	$I_{cd} = -0.010T_o + 0.667$	280	0.22	0.001	<0.001	-8.7
	月平均	$I_{cd} = -0.009T_o + 0.633$	12	0.90	0.001	<0.001	-9.6
女性	生データ	$I_{cd} = -0.016T_o + 0.994$	6541	0.13	0.001	<0.001	-30.5
	8日間平均	$I_{cd} = -0.019T_o + 1.067$	258	0.22	0.002	<0.001	-8.5
	月平均	$I_{cd} = -0.020T_o + 1.069$	12	0.88	0.002	<0.001	-8.7

I_{cd}: 着衣量、T_o: 外気温、n: サンプル数、R²: 決定係数、p: 有意水準、S.E.: 標準誤差

表-4 既往研究との比較

文献	対象地域	調査時期	調査地	調査対象	回帰式
本研究	岐阜	通年(2010~2011年)	住宅	室内	$I_{cd}(M) = -0.008T_o + 0.612$ $I_{cd}(F) = -0.016T_o + 0.994$ $I_{cd} = -0.010T_o + 0.762$
渡部、リジヤル ¹⁷⁾	関東	夏・秋	住宅	室内	$I_{cd}(M) = -0.002T_o + 0.368$ $I_{cd}(F) = -0.012T_o + 0.687$ $I_{cd} = -0.009T_o + 0.591$
渡部、リジヤル ¹⁸⁾	ネパール	2000年、2001年夏・冬	住宅	室内	$I_{cd}(M) = -0.035T_o + 1.326$ $I_{cd}(F) = -0.038T_o + 1.771$
仲松ら ¹⁰⁾	沖縄	通年(2000~2001年)	大学、郊外	室内、屋外	$I_{cd}(M) = -0.029T_o + 1.217$ $I_{cd}(F) = -0.034T_o + 1.385$
高橋ら ⁸⁾	—	2003年夏	商業空間	室内、半屋外	$I_{cd} = -0.037T_o + 1.49$
森井ら ¹⁹⁾	—	2003年夏・冬	商業空間	室内	$I_{cd} = -0.020T_o + 1.12$

I_{cd}: 着衣量、T_o: 外気温、M: 男性、F: 女性

3.3 着衣量と快適温度の関係

着衣量と快適温度の関係を明らかにする。そこで、下記の Griffiths 法²⁰⁻²²⁾を用いて快適温度を検証する。

$$T_c = T_i + (5 - C) / a^* \quad (3)$$

T_c : Griffiths 法による快適温度(°C)、 T_i : 室温(°C)、5: 寒暑感申告「暑くも寒くもない」、 C : 寒暑感申告、 a^* : 回帰係数である。また本研究では、Griffiths 法の適用にあたって、7 段階寒暑感尺度の Humphreys ら²²⁾がよく用いる回帰係数 0.50 を用いる。これを 9 段階寒暑感尺度に換算すると 0.67 (=0.50×8/6)になる²³⁾。

図 5 に、生データに基づく着衣量と快適温度の散布図を示す。着衣量 (I_{cl}) と快適温度 (T_c) の間に下記の回帰式が得られた。

$$I_{cl}(M) = -0.013 T_c + 0.765 \quad (4)$$

(n=6738, $R^2=0.082$, $p<0.001$, S.E.=0.001)

$$I_{cl}(F) = -0.028 T_c + 1.331 \quad (5)$$

(n=6426, $R^2=0.141$, $p<0.001$, S.E.=0.001)

前節と同様に、回帰式(4),(5)の決定係数が小さいため、8 日平均と月平均での検討を行った結果、決定係数がかなり上昇して式(4),(5)に似た回帰係数が得られた。

着衣量と快適温度は負の相関関係がある。これは、着衣量の調節により男女それぞれの快適温度の幅を広げることができると示唆される。また、式(4),(5)より、快適温度 18~28°C の範囲の着衣量を予測すると、男性で 0.40~0.53clo、女性で 0.55~0.83clo となる。つまり、快適温度 18~28°C の間では、男性で 0.13clo、女性で 0.28clo の着衣量調整が快適温度に寄与している。

次に、快適温度 18~28°C の範囲の着衣量の変化を、中村ら²⁾の 5.7°C/clo を用いて男女別に快適温度を換算する。着衣量の変化幅をみると、男性で 0.13clo であり約 0.7°C 分、女性で 0.28clo であり約 1.6°C 分の快適温度に着衣量が寄与している。したがって、本研究の快適温度の幅が広い理由の一つとして、着衣量の調整が考えられる。

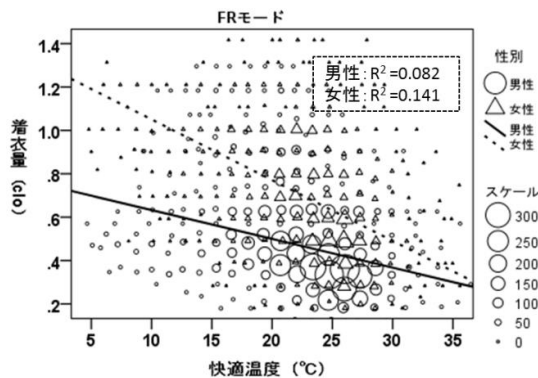


図-5 着衣量と快適温度の関係

4. まとめ

本研究では、岐阜市近郊の住宅を対象に 1 年間のリビングにおける温熱環境の実測と居住者の熱的主観申告調

査を行い、以下の結果が得られた。

1. 外気温に基づいた着衣量を予測する回帰式を提案した。着衣量と外気温は負の相関関係があり、男女ともに外気温に応じて着衣量を調整している。回帰線の傾きより、外気温の変化に対して女性の方が敏感に反応している結果が得られた。
2. 着衣量と快適温度は負の相関関係があり、男女ともに快適温度に着衣量が影響している。また、着衣量の調整が、男性で約 0.7°C、女性で約 1.6°C の快適温度に寄与していると示唆され、快適温度の幅が広い理由の一つとして、着衣量の調整が考えられる。

謝辞

実測調査と申告調査では丸平建設株式会社の林重元氏に多大なご協力を頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 後藤ら: 空気調和・衛生工学会論文集, No. 109, pp. 11-18, 2006.4.
- 2) 中村、岡村: 日本建築学会計画系論文集, 第 495 号, pp. 85-91, 1997.5.
- 3) 石野ら: 日本建築学会計画系論文集 第 500 号, pp.31-36, 1997.10.
- 4) 大熊ら: 日本建築学会環境系論文集 第 73 巻 第 625 号, pp. 307-312, 2008.3.
- 5) 西原ら: 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 環境工学 II, pp. 1127-1128, 2008.9.
- 6) 岡本ら: 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 環境工学 II, pp. 33-34, 2004.8.
- 7) 高橋ら: 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 環境工学 II, pp. 37-38, 2004.8.
- 8) 井原ら: 日本建築学会九州支部研究報告 II, 環境系 第 39 号, pp. 365-368, 2000.3.
- 9) 仲松ら: 日本建築学会環境系論文集 第 570 号, pp. 21-27, 2003.8.
- 10) 富田、加藤: 福山女学園大学研究論集 第 38 号, pp. 9-19, 2007.
- 11) 大和ら: 日本建築学会環境系論文集 第 595 号, pp. 25-31, 2005.9.
- 12) 福坂、松原: 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, 環境工学 I, pp. 783-784, 2006.9.
- 13) 渡部ら: 2012 年度日本建築学会関東支部研究報告集 II, pp. 25-28, 2013.3.
- 14) 花田ら: 繊維消誌 24(8), pp. 363-369, 1983.
- 15) 花田ら: 繊維消誌 22(10), pp. 430-437, 1981.
- 16) 中谷ら: 日本建築学会環境系論文集 第 597 号, pp. 51-56, 2005.11.
- 17) 渡部、リジャル: 日本建築学会関東支部研究報告集 II, pp. 81-84, 2014.2.
- 18) 渡部、リジャル: 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (長野) 第 6 巻, pp. 136-140, 2013.9.
- 19) 森井ら: 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 環境工学 II, pp. 35-36, 2004.8.
- 20) リジャルら: 日本建築学会環境系論文集, 第 565 号, pp. 17-24, 2003.
- 21) Griffiths: Thermal comfort in building with passive solar features: field studies, Report to the Commission of the European communities, EN3S-090 UK: University of Surrey Guildford, 1990.
- 22) Rijal et al.: ASHRAE Transactions, 114 (2), pp. 555-573, 2008.7.
- 23) リジャルら: 日本建築学会 第 42 回熱シンポジウム, pp. 107-114, 2012.11.